

30-0536/001

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU

DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. K. KORDINA – PROF. DR.-ING. G. REHM

Abschlußbericht

"Untersuchung des Erwärmungsvorganges in Bauteilen bei
natürlichen Bränden und deren Umrechnungsmöglichkeiten
auf die Einheitstemperaturkurve nach DIN 4102"

Forschungsauftrag des Landes Nordrhein-Westfalen

Az.: V B 1 - Nr. 6 (For.)

Bericht erstattet

von

Dipl.-Ing. U. Schneider

1972

BIBLIOTHEK
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig
Beethovenstraße 52
D-33106 Braunschweig

Postsendungen:
33 Braunschweig, Beethovenstraße 52
Erfüllungsort und Gerichtsstand Braunschweig

Fernsprecher: (0531) 391 2281

Fernschreiber: 952 698 lbstb d

Zur Vermeidung von Verzögerungen wird dringend gebeten, Zuschriften nur an das Institut zu richten, nicht aber an einzelne Mitarbeiter.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	4
2. Experimentelle Untersuchungen	5
2.1 Versuchsaufbau	5
2.2 Versuche mit natürlichen Bränden	6
2.3 Versuche mit modifizierten Bränden	8
2.4 Diskussion der Versuchsergebnisse	10
3. Theoretische Untersuchungen	11
3.1 Wärmeübergang in Brandhäusern und bei natürlichen Bränden	11
3.2 Berechnung der Temperaturfelder bei natürlichen Bränden	14
3.3 Berechnung der Temperaturfelder bei modifizierten Bränden	17
3.4 Diskussion der Rechenergebnisse	18
4. Zusammenfassung	19
5. Literaturverzeichnis	21
6. Anhang	23
6.1 Tabellen	24
6.2 Diagramme	28

Formelzeichen

Zeichen	Dimension	Benennung
A	(m^2)	Fensterfläche, Ventilationsöffnung
A _t	(m^2)	Oberfläche des Raumes
C _s	$(kcal/m^2 h K^4)$	Strahlungszahl des schwarzen Körpers
c	$(kcal/kg K)$	spez. Wärmekapazität
Gr	(1)	Grashoffsche Kennzahl
h	(m)	Fensterhöhe
k	(1)	Transformationskoeffizient
L	(1)	geometrische Kennzahl
Pr	(1)	Prandtlsche Kennzahl
q	(kg/m^2)	Brandlast
\dot{q}	$(kcal/m^2 h)$	Wärmestromdichte
\dot{q}_f	$(kcal/m^2 h)$	Wärmestromdichte an der Feuerseite
\dot{q}_a	$(kcal/m^2 h)$	Wärmestromdichte an der Luftseite
Re	(1)	Reynoldsche Kennzahl
t	(min)	Zeit
t _{äq}	(min)	äquivalente Branddauer
t _{äqB}	(min)	äquivalente Branddauer für Beton
t _{äqG}	(min)	äquivalente Branddauer für Gasbeton
t _{äqS}	(min)	äquivalente Branddauer für Stahl
t _{real}	(min)	wirkliche Branddauer
V	(%)	Ventilation
x	(cm)	Wegkoordinate im Bauteil

Zeichen	Dimension	Benennung
α	$(\text{kcal}/\text{m}^2\text{hK})$	Wärmeübergangszahl
α_a	$(\text{kcal}/\text{m}^2\text{hK})$	Wärmeübergangszahl der Luftseite
α_1	$(\text{kcal}/\text{m}^2\text{hK})$	Wärmeübergangszahl der Feuerseite
α_K	$(\text{kcal}/\text{m}^2\text{hK})$	Wärmeübergangszahl für Konvektion
α_s	$(\text{kcal}/\text{m}^2\text{hK})$	Wärmeübergangszahl für Radiation
ε	(1)	Gesamtemissionszahl
ϑ	$(^\circ\text{C})$	Temperatur
ϑ_B	$(^\circ\text{C})$	Brandraumtemperatur
ϑ_L	$(^\circ\text{C})$	Lufttemperatur
ϑ_{real}	$(^\circ\text{C})$	Vergleichstemperatur
ϑ_W	$(^\circ\text{C})$	Wandtemperatur
ϑ_{W_a}	$(^\circ\text{C})$	Wandtemperatur der Luftseite
ϑ_{W_1}	$(^\circ\text{C})$	Wandtemperatur der Feuerseite
λ	$(\text{kcal}/\text{m hK})$	Wärmeleitfähigkeit
ρ	(kg/m^3)	Dichte

1. Einleitung⁺⁾

Neuere Tendenzen im baulichen Brandschutz lassen erkennen, daß zukünftig bei der Festlegung feuerpolizeilicher Vorschriften die in den zu beurteilenden Brandabschnitten tatsächlich vorliegenden Brandlasten, Lüftungsverhältnisse und Raumgeometrien berücksichtigt werden dürfen. Das Studium von natürlichen Bränden und alle in diesem Zusammenhang auftretenden Fragen gewinnen für den Brandschutz daher zunehmend an Bedeutung. In Japan, Schweden, England und Frankreich wurden natürliche Brände bereits untersucht, in Deutschland (Dortmund) sind umfangreiche Vorhaben in der Planung.

Die Notwendigkeit, den Brandschutz zu modernisieren, ergibt sich vor allen Dingen aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Diese Entwicklung bedeutet jedoch nicht, daß die seit vielen Jahren in Normbrandversuchen angesammelten Prüferfahrungen allmählich bedeutungslos werden - ein standardisiertes brandschutztechnisches Prüfwesen ist auch weiterhin unbedingt notwendig. Die zukünftige Fragestellung wird lediglich dahingehend gerichtet sein, in welchem Zusammenhang die bei natürlichen Bränden festzustellenden Brandwirkungen mit den in Normbrandversuchen auftretenden Bauteilveränderungen stehen. Wünschenswert wäre ein einfaches Verfahren, welches die Umrechnung der Brandwirkungen bei natürlichen Bränden auf die Brandbeanspruchung nach DIN 4102 ermöglicht. In der vorliegenden Untersuchung wird ein Teilaspekt zu dieser Frage behandelt.

Der Brandbeanspruchung nach DIN 4102 liegt eine definierte Brandraumtemperatur-Zeit-Funktion (Abkürzung: ETK) zugrunde. Dieses hat bei der Untersuchung von natürlichen Bränden zur Einführung des Begriffs der äquivalenten Branddauer (Abkürzung: $t_{\text{äq}}$) geführt. Unter äquivalenter Branddauer wird danach derjenige Zeitraum verstanden, in dem beim Normbrand die gleichen Brandwirkungen an einem Bauteil auftreten wie bei einem beliebigen natürlichen Brand. Es erhebt sich nun natürlich die Frage, ob eine auf diese Art definierte äquivalente Branddauer nicht selbst vom Bauteil abhängig

⁺⁾ Der vorliegende Bericht ist der Abschlußbericht einer Forschungsarbeit, die vom Lande Nordrhein-Westfalen finanziert wurde.

ist, d. h. daß sich für einen natürlichen Brand, je nach Bauteil, verschiedene äquivalente Branddauern angeben lassen. Einige Forscher halten den Einfluß des Bauteils bei der Bestimmung der äquivalenten Branddauer für gering, z. B. Ehm [1] und Knublauch [2], wohingegen schwedischen Untersuchungen zufolge je nach Brandbelastung und Bauteil erhebliche Zeitdifferenzen auftreten können (vergl. Pettersson [3]). Dieser Frage wird in der vorliegenden Untersuchung auf experimentellem und theoretischem Wege nachgegangen.

2. Experimentelle Untersuchungen

2.1 Versuchsaufbau

Die Versuchsplanung wurde unter zwei speziellen Gesichtspunkten vorgenommen. Wenn eine wesentliche Beeinflussung der äquivalenten Branddauer durch verschiedenartige Bauteile besteht, so läßt sich dieses sicherlich dann am besten zeigen, wenn die thermischen Eigenschaften der untersuchten Baustoffe erhebliche Unterschiede aufweisen. Als Vergleichsbauteile mußten also Stoffe gewählt werden, deren Temperaturleitfähigkeiten bzw. Wärmekapazitäten ein weites Spektrum der üblichen Baustoffe umfassen. Andererseits war natürlich darauf zu achten, daß die gewählten Baustoffe auch hinsichtlich ihrer Anwendung im Bauwesen eine maßgebende Rolle spielen, so daß Sonderbaustoffe für die Untersuchungen wenig geeignet erschienen.

Aus diesen Überlegungen heraus erwiesen sich im vorliegenden Fall die drei Baustoffe Gasbeton ($\rho = 590 \text{ kg/m}^3$), Beton ($\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$) und Stahl ($\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$) als am besten geeignet. Um eine Vergleichsmöglichkeit mit dem vorgeschlagenen Verfahren zur Bestimmung des Bewertungsfaktors "m" [4] zu schaffen, wurden Versuchskörper mit den Abmessungen 50 cm x 50 cm x 15 cm hergestellt und mit jeweils 12 Thermoelementen versehen. Je drei Versuchskörper wurden im oberen Bereich eines Wandbrandhauses in gleicher Höhe eingebaut, so daß im Versuch hinsichtlich der thermischen Randbedingungen für die Vergleichsbauteile weitgehend die gleichen Verhältnisse geschaffen werden konnten.

In den Versuchen wurden Brandbeanspruchungen entsprechend der Einheitstemperaturkurve mit Brandbeanspruchungen bei natürlichen Bränden (Brandbelastung 15 kg/m^2 bei 25 % Ventilation und 60 kg/m^2 bei 25 % Ventilation) und modifizierten Bränden (75 % der ETK und 125 % der ETK) verglichen. Die natürlichen Brände wurden durch Vorgabe einer gemessenen Temperatur-Zeit-Funktion nach englischen [5] bzw. französisch/deutschen [6] Messungen in einem Wandbrandhaus simuliert. Die gefahrenen Brandraumtemperaturkurven sind auf Bild 1 dargestellt. Daß eine Simulation von natürlichen Bränden in Brandhäusern zu Vergleichsuntersuchungen herangezogen werden kann, wird beispielsweise von Ehm [7] bestätigt. Ähnliche Versuche wurden auch von Knublauch [2] durchgeführt. Es kann entsprechend den angegebenen sehr unterschiedlichen Brandbelastungen (vergl. Bild 1) demnach davon ausgegangen werden, daß mit den vorliegenden Untersuchungen ein großer Bereich der in der Natur vorkommenden Brände überdeckt wird. Brandabläufe, die ein extrem anderes Temperatur-Zeit-Verhalten mit sich bringen wie die soeben erwähnten Brände, z. B. Schwelbrände, sind dagegen nicht mit erfaßt.

Die Betonkörper wurden vor Versuchsbeginn 14 Tage bei 105°C getrocknet, um Sekundäreffekte durch Feuchtigkeit auszuschalten. Dieses bedeutet keine Einschränkung hinsichtlich der Allgemeingültigkeit der Ergebnisse, weil durch Feuchtigkeit lediglich eine geringe Verschiebung der thermischen Parameter eintritt. Grundsätzliche Unterschiede in den Ergebnissen sind dagegen nicht zu erwarten. Im Hinblick auf eine Reproduzierbarkeit der Versuche ist der Feuchtigkeitseinfluß jedoch unerwünscht.

2.2 Versuche mit natürlichen Bränden

Bei den Untersuchungen von natürlichen Bränden wurden zwei unterschiedliche Brandabläufe simuliert. Die gemessenen Temperatur-Zeit-Funktionen des Brandraums sind auf Bild 1 (Nummer 1 und 4) dargestellt. Die obere Kurve entspricht dabei einer Brandbelastung von ungefähr 60 kg/m^2 bei 25 % Ventilation, wie sie von Ehm [6] bei Versuchen in Metz ermittelt wurde. Die untere Kurve

entspricht einer Brandbelastung von rd. 15 kg/m^2 bei 25 % Ventilation und läßt sich am besten mit englischen Versuchsergebnissen [5] vergleichen.

Die Beurteilung der Brandwirkung erfolgte nach dem um 1965 vermutlich in England zuerst angewandten Verfahren, wonach eine äquivalente Branddauer durch den Vergleich bestimmter Temperaturen beim Normbrand und einem beliebigen Brand ermittelt wird (vergl. Bild 2). Als Brandwirkung können bei diesem Verfahren prinzipiell alle bei Feuerangriff auftretenden Phänomene wie Temperaturerhöhungen, Entwässerungen, Verformungen usw. angesehen werden. In der Praxis ist die gleichzeitige Beurteilung verschiedener Phänomene an einem Bauteil allerdings sehr schwierig, wenn nicht sogar unmöglich, so daß man sich häufig auf die Beobachtung einer einzigen charakteristischen Veränderung beschränkt. Aus praktischen Gründen wird deshalb sehr oft die erreichte Temperatur an einem bestimmten Punkt eines Bauteils als Brandwirkung angesehen. Dieses scheint bei nicht-brennbaren Baustoffen sinnvoll zu sein, weil eine Reihe von Werkstoffschädigungen im Feuer (z. B. Abnahme der Festigkeit und des E-Moduls), eng mit dem Temperaturniveau verknüpft sind. Es darf jedoch nicht vergessen werden, daß diese Betrachtungsweise nur eine grobe Näherung ist, weil eine Reihe von sekundären Einflüssen, die das Bauteilverhalten mitbestimmen (z. B. die Aufheizgeschwindigkeit) nicht berücksichtigt werden. Bei brennbaren Baustoffen versagt dieses Verfahren vollständig. Als Brandwirkung müssen andere Parameter (z. B. die Abbrandtiefe) herangezogen werden. Hierüber wird insbesondere in [2] berichtet.

Bei der Auswertung der Versuche wurden zwei Meßtiefen 0,5 cm und 4,5 cm (von der beflamnten Seite aus gemessen) berücksichtigt. Es sollte dadurch festgestellt werden, ob bei der Bestimmung der äquivalenten Branddauer nicht nur der Baustoff eine Rolle spielt, sondern ebenfalls die Wahl des geometrischen Orts der Meßstelle von Einfluß ist. Von Pettersson [3] wurde ein Einfluß aufgrund von theoretischen Untersuchungen an Stahlbetonbalken bereits nachgewiesen. Ein experimenteller Beweis dazu liegt jedoch bisher noch nicht vor.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung an natürlichen Bränden sind auf der Tabelle 1 zusammengefaßt. Eine übersichtliche Darstellung dazu geben die Bilder 3 und 4. Es ist festzustellen, daß die an der Stahlplatte ermittelten äquivalenten Branddauern mit zunehmender Meßtiefe geringfügig ansteigen, während bei den Betonplatten die umgekehrten Verhältnisse vorliegen. Weiterhin ist zu erkennen, daß bei der Bestimmung der äquivalenten Branddauer, je nach Werkstoff und Meßtiefe, Fehler von über 50 % auftreten können. Der Stahl ergibt im allgemeinen kleinere äquivalente Branddauern als der Beton, jedoch läßt sich dieses nicht verallgemeinern. Wie man auf Bild 3 sieht, liegen bei sehr geringer Meßtiefe (0,5 cm) und kleiner Brandlast (15 kg/m^2) die Betonwerte unter den Stahlwerten.

Die gestrichelten Linien auf den Bildern 3 und 4 geben den von Ehm [1] mit Holzkrippenbränden ermittelten Bereich der äquivalenten Branddauer für große (obere Linie) und kleine (untere Linie) Räume an. Bei diesen Messungen wurde nur Stahl als Vergleichsbau- stoff herangezogen. Es zeigt sich jedoch, daß die hier durchge- führten Untersuchungen an einer Stahlplatte mit den von Ehm ermit- telten Werten im oberen und unteren Brandlastbereich weitgehend übereinstimmen. Dieses kann gleichzeitig auch als Beweis dafür an- gesehen werden, daß die Simulation von natürlichen Bränden in Brandhäusern für Vergleichsmessungen durchaus geeignet ist.

2.3 Versuche mit modifizierten Bränden

Die Untersuchungen an natürlichen Bränden wurden ergänzt durch Versuche mit modifizierten Brandraumtemperaturkurven. Die Einheits- temperaturkurve nach DIN 4102 wurde durch Einführung des Faktors k linear transformiert,

$$\vartheta - \vartheta_L = k \cdot \log (8 t + 1), \quad (2.1)$$

so daß ein weiter Bereich von Brandraumkurven zur Verfügung stand. Für die Versuche wurde $k = 1,25$ und $k = 0,75$ gewählt. Die entspre- chenden Temperatur-Zeit-Funktionen sind auf Bild 1 mit eingezeich-

(Nummer 2 und 5). Die Versuche wurden entsprechend Abschnitt 2.1 ebenfalls in einem Wandbrandhaus durchgeführt. Die Versuchsanordnung und die Probekörperabmessungen wurden unverändert beibehalten.

Auf der Tabelle 2 sind die Versuchsergebnisse für Stahl und Beton aufgeführt. Danach ergeben sich zwei Bereiche mit durchaus unterschiedlichen Bauteileinflüssen. Bei geringer Meßtiefe (0,5 cm) und "großer Brandlast" ($k > 1,0$) ergibt Beton durchweg größere äquivalente Branddauern als Stahl. Für $k < 1,0$ treten dagegen umgekehrte Verhältnisse ein. Bei großer Meßtiefe (4,5 cm) ergibt Beton nur größere Branddauern, wenn $k < 1,0$ ist (vergl. Bild 5 und 6). Diese Ergebnisse stehen nicht im Widerspruch zu den Untersuchungen an natürlichen Bränden vom Abschnitt 2.2. Jedoch war dort festgestellt worden, daß in der Mehrzahl der Fälle am Stahl kürzere äquivalente Branddauern gemessen werden als am Beton.

Der Einfluß der Meßtiefe auf die äquivalente Branddauer ist auf den Bildern 5 und 6 deutlich zu erkennen. Für Beton und Stahl nimmt $t_{\text{äq}}$ mit zunehmender Meßtiefe ab, wenn $k = 1,25$ ist. Bei der geringen Brandbeanspruchung ($k = 0,75$) kehren sich die Verhältnisse für beide Baustoffe jedoch um, d. h. $t_{\text{äq}}$ steigt mit zunehmender Meßtiefe.

Eine wichtige Erkenntnis läßt sich aus den vorhergehenden Untersuchungen ebenfalls noch gewinnen. Während sich die am Stahlkörper ermittelten äquivalenten Branddauern nur geringfügig mit der Meßtiefe ändern, trifft dieses für Beton und Gasbeton nicht zu (vergl. Tabelle 1 und 2). Das bedeutet nichts weiter, als daß ein Körper mit sehr großer Wärmeleitfähigkeit (Extremfall $\lambda \rightarrow \infty$, Kalorimeter) zur Bestimmung der äquivalenten Branddauer am besten geeignet zu sein scheint. Bei einem derartigen Meßverfahren wäre der Einfluß einer Meßtiefe eliminiert, der Baustoffeinfluß (Temperaturleitfähigkeit, Wärmekapazität) wird jedoch ebenfalls nicht berücksichtigt.

2.4 Diskussion der Versuchsergebnisse

An Versuchskörpern aus drei unterschiedlichen Baustoffen (Beton, Stahl und Gasbeton) wurde experimentell nachgewiesen, welche Bauteilabhängigkeiten bei der Bestimmung einer äquivalenten Branddauer bestehen. Es wurden Bereiche gefunden, in denen Stoffe mit hoher Wärmeleitfähigkeit kleinere äquivalente Branddauern ergeben als solche mit niedriger Wärmeleitfähigkeit und umgekehrt. Bei natürlichen Bränden traten bei größeren Meßtiefen je nach Baustoff Abweichungen von über 50 % auf, wobei die Stoffe mit hoher Wärmeleitfähigkeit kleinere äquivalente Branddauern ergeben.

Während bei Stoffen mit hoher Wärmeleitfähigkeit der Einfluß der Meßtiefe gering ist (untersuchter Bereich; Meßtiefe $\leq 5,0$ cm), bestehen bei Stoffen wie Beton und Gasbeton starke Abhängigkeiten. Bei niedrigen Brandlasten nimmt die äquivalente Branddauer mit der Meßtiefe im allgemeinen zu, während bei hohen Brandlasten das Gegenteil eintritt (vergl. Tabelle 1 und 2, Beton bzw. Gasbeton). Diese Ergebnisse stimmen mit theoretischen Untersuchungen von Petersson [8] weitgehend überein.

Zusammenfassend läßt sich demnach sagen, daß innerhalb des weiten Bereichs der hier untersuchten Brände, bei den drei untersuchten Vergleichsbauteilen, eine systematische Bauteilabhängigkeit bei der Bestimmung der äquivalenten Branddauer nachgewiesen werden konnte. Von Einfluß sind die thermischen Eigenschaften des Baustoffs (Temperaturleitzahl, Wärmekapazität), aber auch die Geometrie des Bauteils (Meßtiefe). In der vorliegenden Untersuchung wurden maximale Abweichungen von nahezu 60 % nachgewiesen, im Durchschnitt lagen die Unterschiede jedoch bei nur rd. 25 % (Mittelwert der Abweichungen von Tabelle 1 und 2). Immerhin zeigt die Untersuchung, daß die Bewertung von natürlichen Bränden unter Verwendung von Vergleichsbauteilen nur dann sinnvoll ist, wenn man die dabei auftretenden Fehler in ihrer Größenordnung kennt. Dies gilt insbesondere für das vorgeschlagene Verfahren zur Bestimmung des Bewertungsfaktors "m" [4], das nach diesem Prinzip aufgebaut ist.

3. Theoretische Untersuchungen

3.1 Wärmeübergang in Brandhäusern und bei natürlichen Bränden

Die Wärmeübergangsverhältnisse beim Feuerangriff auf Bauteile sind weitgehend unerforscht, so daß zur Zeit noch erhebliche Unsicherheiten über die Zusammenhänge bestehen. Immerhin geben die Untersuchungen von Witteveen [9], Law [10], Ödeen [11], Ehm [12] und Beyreis [13] darüber einigen Aufschluß, mit welchen Transportkoeffizienten im Brandfall gerechnet werden muß, wobei die beiden zuletzt genannten am weitesten fortgeschritten zu sein scheinen und auch die Verhältnisse bei natürlichen Bränden studiert haben.

Bei Feuerangriff hat sich folgendes Verfahren zur Berechnung der Temperaturfelder in Bauteilen bewährt: Der im Newtonschen Gesetz der Wärmeübertragung

$$\dot{q} = \alpha (\vartheta_B - \vartheta_W) \quad (3.1)$$

vorkommende Transportkoeffizient α wird aus Zweckmäßigkeitsgründen in einen konvektiven Anteil α_K und einen radiativen Anteil α_R aufgespalten. Während α_K im wesentlichen durch die Strömungsverhältnisse der heißen Rauchgase bestimmt wird

$$\alpha_K = f(\text{Re}, \text{Pr}, \text{Gr}, L), \quad (3.2)$$

und somit vom Bauteil selbst weitgehend unabhängig ist (von sekundären Einflüssen wie Wandrauigkeiten, turbulenzbildenden Kanten etc. soll in diesem Zusammenhang abgesehen werden), muß α_R aus dem Zusammenwirken von Brandraum und Bauteil berechnet werden. Bewährt hat sich in diesem Fall ein Ansatz der Form

$$\alpha_R = \epsilon \cdot c_s \cdot f(\vartheta_B, \vartheta_W), \quad (3.3)$$

worin die Gesamtemissionszahl ϵ allerdings eine kaum exakt darstellbare Größe ist, die sowohl vom Feuer selbst als auch von den angrenzenden Bauteilen beeinflusst wird.

Eine kritische Sichtung der Literaturstellen [7], [9], [10], [11], [12] und [13] sowie eigene theoretische Untersuchungen des Verfassers haben ergeben, daß bei Feuerangriff im allgemeinen mit folgenden Übergangsverhältnissen gerechnet werden kann:

Kennwert	Dimension	extremer Bereich	engerer Bereich
α_K	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ h K}}$	10 - 50	20 - 40
ϵ	1	0,2 - 0,8	0,4 - 0,65

In dieser Tabelle wurde die Emission der Bauteiloberfläche mit einem mittleren Wert von 0,8 berücksichtigt. Dieser Wert gilt beispielsweise (ungefähr) für Stahl mit gewalzter bzw. verrosteter Oberfläche, aber auch (näherungsweise) für Beton und Gasbeton. In Brandhäusern muß im allgemeinen mit kleineren Emissionszahlen gerechnet werden als bei natürlichen Bränden, weil die strahlenden Schichtdicken bzw. das strahlende Flammenvolumen in den Brandkammern vielfach kleiner ist als in wirklichen Räumen. Demgegenüber mag der konvektive Wärmeübergang gerade in Brandhäusern höher sein als bei natürlichen Bränden. Die hier angegebenen Richtwerte sind selbstverständlich nur als Anhaltspunkte gedacht. Bei genauen Berechnungen müssen die Wärmeübergangsverhältnisse für jeden Einzelfall gesondert untersucht werden.

Welche Konsequenzen sich aus den hier nur kurz behandelten Zusammenhängen des Wärmeübergangs bei Feuerangriff für die Erwärmungsvorgänge in verschiedenartigen Bauteilen ergeben, zeigen die Bilder 11 und 12. Es sind darauf die berechneten Wärmestromdichten und Wärmeübergangszahlen für drei Bauteile mit unterschiedlichen thermischen Eigenschaften aber im übrigen gleichen Abmessungen (scheibenartig: 50 cm x 50 cm x 15 cm) dargestellt.

Der Berechnung liegt die numerische Lösung der Fouriergleichung unter Annahme konstanter Stoffwerte (idealisierte Baustoffe) zu-

grunde. Die Emissionszahl wurde dabei mit 0,4 und die konvektive Wärmeübergangszahl auf der Feuerseite mit $32,0 \text{ kcal/m}^2\text{hK}$ angenommen. Die drei idealisierten Bauteile aus Gasbeton, Beton und Stahl wurden in dem Rechenmodell der gleichen Feuerbeanspruchung (gleiche thermische Randbedingungen) ausgesetzt.

Bild 11 zeigt sehr eindrucksvoll, daß an der Stahlplatte ein zwei- bis dreimal so hoher Wärmestrom auftrat wie an der Betonplatte, obwohl beide Bauteile der gleichen thermischen Behandlung unterzogen wurden. Dieses könnte zu der Ansicht verleiten, daß der Stahl bei Feuerangriff entsprechend DIN 4102 von der Norm benachteiligt wird. Das ist jedoch keineswegs der Fall. Entsprechend Bild 12 wird wohl niemand behaupten wollen, daß der Beton von der Norm benachteiligt wird, nur weil in dem betrachteten Fall dessen Wärmeübergangszahl α über der vom Stahl liegt. Die thermischen Verhältnisse bei Feuerbeanspruchung werden eben nicht nur vom Feuer, sondern entscheidend von den Bauteilen selbst beeinflusst. Nicht nur die äußere Wärmeübergangszahl ist für die Erwärmungsvorgänge von Bedeutung, sondern der innere Wärmeübergang spielt eine viel größere Rolle. Diese Feststellung läßt sich durch einfache Berechnungen beweisen. Löst man beispielsweise die Fouriergleichung für den soeben beschriebenen Fall unter Annahme verschiedener Emissionszahlen, so läßt sich zeigen, daß die Rechenergebnisse erst dann erheblich voneinander abweichen, wenn ϵ um 10 bis 20 % geändert wird, d. h. gegen geringe Schwankungen von ϵ ist die Rechnung relativ unempfindlich. Dieses ist als Beweis dafür anzusehen, daß bei Feuerangriff die innere Wärmeübergangszahl des Bauteils als maßgebende Größe anzusehen ist.

3.2 Berechnung der Temperaturfelder bei natürlichen Bränden

Die Behauptung, daß sich für beliebige Brände unabhängig vom Bauteil äquivalente Branddauern angeben lassen, bedeutet nichts weiter, als daß die Lösungen der Fouriergleichung

$$\rho c \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \operatorname{div} \lambda (\operatorname{grad} \vartheta) \quad (3.4)$$

mit den für natürliche Brände maßgebenden Randbedingungen durch Umrechnung nach dem auf Bild 2 angegebenen Verfahren für beliebige Baustoffe und Geometrien immer zum gleichen Ergebnis führen. Vom theoretischen Standpunkt wird niemand diese Behauptung ernsthaft in Erwägung ziehen. Sofern es sich jedoch um die näherungsweise Erfassung eines für die Praxis bedeutsamen Problems handelt, können derartige Annahmen zugelassen werden, wenn gleichzeitig die möglichen Fehlerschranken mit angegeben werden.

Im Abschnitt 2 dieses Berichts sind einige experimentell ermittelte Schranken angegeben worden. Um die auftretenden Fehler noch besser zu erfassen und um weitere Einflüsse zu studieren, werden hier noch einige Berechnungsergebnisse von natürlichen Bränden mitgeteilt. Den Berechnungen liegt die numerische Lösung der Fouriergleichung

$$\rho c \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} \quad (3.5)$$

mit den Anfangsbedingungen

$$t = 0: \quad \vartheta(x, 0) = 20^\circ \text{C} \quad (3.6)$$

und den Randbedingungen

$$t > 0: \quad \dot{q}_1 = \alpha_1 (\vartheta_B - \vartheta_{w1}) \quad (3.7)$$

$$\dot{q}_a = -\alpha_a (\vartheta_{wa} - \vartheta_L) \quad (3.8)$$

zugrunde. Bei der Lösung der Randwertaufgabe wurde auf das in [14] beschriebene Differenzenverfahren zurückgegriffen. Die Abmessungen der berechneten scheibenartigen Bauteile betrugen wie in Abschnitt 2 50 cm x 50 cm x 15 cm.

An dieser Stelle sei ausdrücklich betont, daß die hier durchgeführten Berechnungen keine Nachrechnung der experimentell gefundenen Ergebnisse sein sollen, vielmehr kam es darauf an, die in den Versuchen nach Abschnitt 2 systematisch aufgetretenen Einflüsse noch besser zu erfassen und die entscheidenden Parameter klar herauszustellen. Aus diesem Grunde wurden alle Berechnungen zunächst nur mit idealisierten Baustoffen durchgeführt, d. h. die Stoffwerte wurden als konstant angenommen. Da es hier jedoch zunächst nur auf qualitative Aussagen bezüglich des Bauteileinflusses auf die äquivalente Branddauer ankam, wurde diese grobe Vereinfachung bewußt in Kauf genommen. Es ist klar, wenn unter Annahme konstanter Stoffwerte im Bauteileinfluß auf t_{aq} nachgewiesen werden kann, so ist kein Grund vorhanden, daß dies bei temperaturabhängigen Stoffwerten nicht ebenfalls der Fall sein sollte.

Für alle Brandfälle wurden die gleichen Emissionszahlen und α_K -Werte eingesetzt. Hinsichtlich des qualitativen Charakters der Berechnungen scheint dies ebenfalls gerechtfertigt. Folgende Rechenwerte wurden gewählt:

Benennung	Dimension	Stahl	Beton	Gasbeton
Temperaturleitzahl	m^2/h	0,04	0,00202	0,00126
Wärmeleitzahl	$\text{kcal}/\text{m h K}$	40,0	1,28	0,18
$(\varepsilon)_{\text{Feuerseite}}$	1	0,4	0,4	0,4
$(\varepsilon)_{\text{Luftseite}}$	1	0,8	0,8	0,8
$(\alpha_K)_{\text{Feuerseite}}$	$\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ h K}$	32,0	32,0	32,0
$(\alpha_K)_{\text{Luftseite}}$	$\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ h K}$	4,0	4,0	4,0

Entgegen den vorliegenden Erfahrungen wurde in der Berechnung die Wärmeleitfähigkeit des Betons absichtlich etwas hoch angesetzt, um den Unterschied zum Gasbeton zu vergrößern.

Im vorliegenden Rechenmodell wurden als Temperatur-Zeit-Funktionen die in England bei natürlichen Bränden gemessenen Kurven [5] zugrunde gelegt (vergl. Bild 13). Die Auswertung erfolgte nach dem

auf Bild 2 skizzierten Verfahren, wobei zur Ermittlung von t_{aq} die an der gewählten Meßstelle berechnete Maximaltemperatur herangezogen wurde. Tabelle 3 enthält alle Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen, die auf den Bildern 7 und 8 auch graphisch dargestellt sind.

Ein Vergleich der Rechenwerte mit den experimentellen Ergebnissen läßt folgende Schlußfolgerungen zu. Obwohl in den Berechnungen hinsichtlich der Stoffeigenschaften und Wärmeübergangsverhältnisse sehr starke Vereinfachungen bewußt in Kauf genommen wurden, zeichnet sich in der Berechnung eine vorzügliche Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen ab. Die Nachrechnungen von natürlichen Bränden zeigen genau wie die Versuche nach Abschnitt 2.2 die eindeutige Tendenz, daß der Stahl fast immer zu kleineren äquivalenten Brandauern führt als der Beton. Erst bei sehr kleinen Brandlasten und bei geringen Meßtiefen kehren sich diese Verhältnisse um.

Größere Abweichungen zwischen Messung und Berechnung ergaben sich bei großen Brandlasten und kleiner Meßtiefe (0,5 cm) für Beton bzw. Gasbeton. Diese Abweichungen lassen sich jedoch leicht erklären, weil bei den Versuchen mit 60 kg/m^2 Brandlast und 25 % Ventilation die der Berechnung zugrunde liegende Temperatur-Zeit-Kurve nach Bild 13 nicht gefahren werden konnte (vergl. mit Bild 1), ergaben sich im Experiment viel geringere Brandraumtemperaturen als der Berechnung zugrunde lagen. Hierzu sei bemerkt, daß im Versuch nach Abschnitt 2.2 nur die von Ehm [6] bei 60 kg/m^2 Brandlast und 25 % Ventilation gemessene Kurve erreicht wurde, die jedoch erheblich unter den englischen Messungen [5] liegt (vergl. Bild 1 mit Bild 13 und 14). Dies macht sich natürlich besonders stark in den oberflächennahen Schichten der beiden weniger gut leitenden Baustoffe bemerkbar.

3.3 Berechnung der Temperaturfelder bei modifizierten Bränden

Neben natürlichen Bränden wurden auch zwei modifizierte Brände rechnerisch untersucht. Als Randbedingungen wurden entsprechend dem Abschnitt 2.3 Temperatur-Zeit-Funktionen vorgegeben, die 125 % bzw. 75 % der Einheitstemperaturkurve betragen. Die thermischen Daten der Vergleichsbauteile und die Wärmeübergangsverhältnisse entsprechen den im Abschnitt 3.2 angegebenen Werten.

Tabelle 4 enthält die Rechenergebnisse. Auf den Bildern 9 und 10 sind diese graphisch aufgetragen. Wie man sieht, werden die Meßergebnisse durch die Berechnungen qualitativ, zum Teil sogar quantitativ (was gar nicht beabsichtigt war) sehr gut wiedergegeben. Die geringen Abweichungen zwischen Messung und Rechnung lassen sich zweifellos durch eine genauere Erfassung der Stoffwerte und Wärmeübergangsverhältnisse beseitigen, was jedoch über den Rahmen dieses Berichts hinausgeht. Entscheidend ist die auch schon experimentell nachgewiesene Feststellung, daß sich bei den modifizierten Bränden Bereiche angeben lassen, in denen Stoffe mit geringer Wärmeleitfähigkeit zu größeren äquivalenten Branddauern führen als Stoffe mit hoher Wärmeleitfähigkeit und umgekehrt.

Der Einfluß der Meßtiefe auf $t_{\text{äq}}$ geht aus den Bildern 9 und 10 ebenfalls sehr gut hervor. Bei niedrigen Brandlasten (75 % ETK) nimmt $t_{\text{äq}}$ danach zu, wobei die Änderungen an den Betonbauteilen am stärksten sind. Bei hohen Brandlasten (125 % ETK) kehren sich die Verhältnisse jedoch um, d. h. $t_{\text{äq}}$ nimmt mit der Meßtiefe ab. Diese Feststellungen stimmen mit den experimentellen Ergebnissen von Abschnitt 2.3 überein. Für die Praxis ergeben sich daraus gewisse Schwierigkeiten bei der Beurteilung von Betonkonstruktionen, deren brandschutztechnisches Verhalten vielfach durch die Überdeckung der vorhandenen Bewehrungslagen bestimmt ist. Die Überdeckungsmaße sind im allgemeinen sehr unterschiedlich, was bei der Bestimmung einer äquivalenten Branddauer zweifellos berücksichtigt werden müßte.

3.4 Diskussion der Rechenergebnisse

Die theoretische Untersuchung der Brandwirkung auf verschiedenartige Bauteile bei natürlichen bzw. modifizierten Bränden hat die experimentellen Ergebnisse weitgehend bestätigt.

Es wurde nachgewiesen, daß bei einer bestimmten Brandlast, je nach Baustoff und Meßtiefe, unterschiedliche äquivalente Branddauern auftreten können. In der Berechnung traten Abweichungen bis zu 80 % auf, im Durchschnitt lagen die Fehler jedoch nur bei rd. 27 % (Mittelwert der Abweichungen aus Tabelle 3), was sehr gut mit dem in Abschnitt 2 experimentell ermittelten durchschnittlichen Fehler von 25 % übereinstimmt.

Bei den natürlichen Bränden lieferten die untersuchten Betone durchweg größere äquivalente Branddauern als der Stahl. Die Untersuchung von modifizierten Bränden nach 3.3 hat jedoch gezeigt, daß es durchaus Brandverläufe gibt, in denen sich diese Verhältnisse umkehren, so daß eine Verallgemeinerung der obigen Bemerkung falsch wäre.

Ein Vergleich der Rechenergebnisse mit den von Pettersson [8] angegebenen Werten zeigt, daß die gefundenen Bauteilabhängigkeiten in ihrer Größenordnung richtig abgeschätzt worden sind. Nach [8] wurde für verschiedenartige Bauteile bei einer Brandlast von 15 Mcal/m^2 (bezogen auf die gesamte Oberfläche; $A\sqrt{h}/A_t = 0,04 \text{ m}^{1/2}$) äquivalente Branddauern zwischen 0,8 (100 %) und 0,3 (38 %) Stunden ermittelt. Bei einer Brandlast von 30 Mcal/m^2 und gleichen Lüftungsverhältnissen ergaben sich immerhin noch Abweichungen zwischen 0,95 (100 %) und 0,45 (48 %) Stunden. Diese Werte wurden ebenfalls alle rechnerisch ermittelt, wobei die angewandten Verfahren wahrscheinlich den in den vorhergehenden Abschnitten 3.1 bis 3.3 beschriebenen Methoden entsprachen.

4. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Möglichkeit der Umrechnung von natürlichen Bränden auf eine Brandbeanspruchung entsprechend des Normbrands nach DIN 4102 unter Verwendung verschiedenartiger Vergleichsbauerteile experimentell und theoretisch untersucht. Als Brandwirkungen wurden in allen Fällen die erreichten Temperaturen an bestimmten Punkten in den Bauteilen angesehen. Aus den gemessenen bzw. berechneten Temperaturen wurde die äquivalente Branddauer bestimmt.

Die Untersuchungen haben zu folgenden Ergebnissen geführt:

Bei der Bestimmung der äquivalenten Branddauer nach dem hier angewandten Verfahren unter Verwendung verschiedenartiger Bauteile ist je nach Baustoff mit erheblichen Zeitdifferenzen zu rechnen. Bei der experimentellen Untersuchung von natürlichen Bränden wurde nachgewiesen, daß Baustoffe hoher Wärmeleitfähigkeit fast immer kürzere äquivalente Branddauern ergeben als Baustoffe geringer Wärmeleitfähigkeit. Bei der Untersuchung von modifizierten Bränden wurde jedoch festgestellt, daß sich bei gewissen Brandabläufen diese Verhältnisse auch umkehren können.

Neben dem Baustoffeinfluß (Temperaturleitfähigkeit, Wärmekapazität), wurde auch eine erhebliche Abhängigkeit der äquivalenten Branddauer von der jeweiligen Meßtiefe im Bauteil nachgewiesen. Bei Baustoffen hoher Wärmeleitfähigkeit sind diese Abhängigkeiten allerdings gering, was darauf hindeutet, daß Stoffe 'unendlich' hoher Leitfähigkeit für derartige Vergleichsmessungen besonders gut geeignet sind.

Bei den experimentellen Untersuchungen ergaben sich zwischen den untersuchten Baustoffen Gasbeton, Beton und Stahl für die äquivalente Branddauer maximale Unterschiede von nahezu 60 %, während bei den Berechnungen sogar Differenzen bis zu 80 % auftraten. Im Mittel waren die Abweichungen allerdings wesentlich geringer, sie lagen bei rd. 25 %. Diese Zahlenwerte sind selbstverständlich keine Richtwerte, sicherlich lassen sich Fälle angeben, wo die Unterschiede noch viel extremer sind. Die hier gefundene mittlere Ab-

weichung scheint für die drei untersuchten Baustoffe jedoch einen großen Bereich der vorkommenden Brandabläufe zu überdecken.

Für Bauteile, die ein grundsätzlich anderes Brandverhalten zeigen als die hier untersuchten Bauteile (z. B. Gipsplatten, Holzbauteile, ummantelte Stahlprofile), lassen sich aus den vorliegenden Untersuchungen keine qualitativen Aussagen gewinnen. Jedoch deuten die nachgewiesenen Abhängigkeiten darauf hin, daß sich für beliebige Brandfälle eine äquivalente Branddauer unabhängig vom Bauteil kaum angeben lassen wird. Man wird vielmehr für verschiedenartige Bauteile ein ganzes Spektrum von äquivalenten Branddauern ermitteln können, die sich nach statistischen Methoden zusammenfassen ließen, so daß sich daraus (unter Berücksichtigung der jeweiligen Streubreiten) Aussagen über die Zusammenhänge zwischen natürlichen Bränden und dem Normbrand gewinnen ließen. Systematische Untersuchungen hierüber liegen zur Zeit noch nicht vor.

5. Literaturverzeichnis

- [1] Ehm, H.: "Vorschlag für die Definition des Faktors 'm' in DIN 18 230". Persönliche Mitteilung an den Unterausschuß "Bewertungsfaktor m", Berlin, 1971.
- [2] Knublauch, E.: "Der Normbrandversuch nach DIN 4102 Blatt 2 als Modell für ein Schadenfeuer im Bauwerk". Eingereichte Dissertation, Berlin, 1971.
- [3] Pettersson, O.: "The possibilities of predicting the fire behaviour of structures on the basis of data from standard fire resistance tests". Beitrag zur CIB-Sitzung in Paris, Juni 1971.
- [4] Schneider, U.: "Bewertung des unterschiedlichen Brandverhaltens von Stoffen bei natürlichen Bränden". (Beitrag zum Berechnungsverfahren nach DIN 18 230 E). Forschungsbericht (unveröffentlicht), Braunschweig, 1972.
- [5] Butcher, E.G. et al.: "The temperature attained by steel in building fires". Fire Research Technical Paper No. 15, London: Her Majesty's Stationery Office, 1966.
- [6] Ehm, H.: "Untersuchungen mit natürlichen Bränden im kleinen Versuchsbrandhaus in Metz". (vorläufige Fassung). Europäische Konvention der Stahlbauverbände, Oktober 1969.
- [7] Ehm, H.: "Vergleichende Auswertungen der Erwärmungsversuche in der großen Installation in Metz". (vorläufige Fassung). Europäische Konvention der Stahlbauverbände, März 1970.
- [8] Pettersson, O.: "The possibilities of predicting the fire behaviour of structures." Inst. of Techn., Lund, 1971.
- [9] Witteveen, J.: "Brandveiligheid Staalconstructies". Inst. TNO, Public. No. 1404. Centrum Bouwen in Staal, Rotterdam, 1966.

- [10] Law, M.: "Analysis of some results of experimental fires."
Symposium No. 2, Paper 3, Behaviour of structural steel in fire. London: Her Majesty's Stationery Office, 1967.
- [11] Ödeen, K.: "Fire resistance of prestressed concrete double T units."
Acta Polytechnica Scandinavica, Series No. 48, Stockholm, 1968.
- [12] Elm, H.: "Beitrag zur rechnerischen Bemessung von brandbeanspruchten balkenartigen Stahlbetonbauteilen."
Dissertation, TU Braunschweig, 1967.
- [13] Beyreis, J.R. et al.: "Properties of wood crib flams."
Fire Technology, Vol. 7, No. 2, May 1971.
- [14] Schneider, U.: "Untersuchung eines Ofens für Warmkriechversuche an Beton."
Diplomarbeit, TU Braunschweig, 1971.

6. Anhang

6.1 Tabellen

6.2 Diagramme

**Tabelle 1: Einfluß des Bauteils auf die äquivalente Branddauer
bei natürlichen Bränden (gemessen)**

Meßtiefe	Brandlast	Stahl				Beton				Gasbeton			
x	q ₂₅ %	t _{real}	g _{real}	t _{äqS}	$\frac{t_{äqS}}{t_{äqS}}$	t _{real}	g _{real}	t _{äqB}	$\frac{t_{äqB}}{t_{äqS}}$	t _{real}	g _{real}	t _{äqG}	$\frac{t_{äqG}}{t_{äqS}}$
cm	kg/m ²	min	°C	min	%	min	°C	min	%	min	°C	min	%
0,5	60 25% V (Metz)	46	540	65	100	38	830	82	126	40	860	79	121
	15 25% V (Boreh.)	24	170	18	100	18	400	12	67	17	483	15	83
4,5	60 25% V (Metz)	55	550	67	100	62	355	71	106	76	290	74	110
	15 25% V (Boreh.)	35	160	21	100	38	182	28	133	41	130	33	157

Tabelle 2: Einfluß des Bauteils auf die äquivalente Branddauer bei modifizierten Bränden (gemessen)

Meßtiefe	Brandlast	Stahl				Beton			
x	k ⁺)	t _{real}	g _{real}	t _{äqS}	$\frac{t_{äqS}}{t_{äqS}}$	t _{real}	g _{real}	t _{äqB}	$\frac{t_{äqB}}{t_{äqS}}$
cm	%	min	°C	min	%	min	°C	min	%
0,5	75	30	148	15	100	30	372	11	73
		60	267	30	100	60	507	21	70
		90	382	44	100	90	588	29	66
		120	475	56	100	120	644	37	66
	125	30	452	53	100	30	770	63	119
		45	620	79	100	45	885	108	137
		60	746	110	100	60	945	~160	146
		80	880	~170	100	-	-	-	-
4,5	75	30	135	17,5	100	30	125	18,5	106
		60	247	32	100	60	232	39	122
		90	362	47	100	90	310	57	124
		120	450	59	100	120	365	74	125
	125	30	370	48	100	30	265	46	96
		45	530	72	100	45	335	66	92
		60	650	98	100	60	408	89	91
		80	765	137	100	80	485	121	88

+) Lineare Transformation der Einheitstemperaturkurve nach Abschnitt 2.3

Tabelle 3: Einfluß des Bauteils auf die äquivalente Branddauer bei natürlichen Bränden (berechnet)

Meßtiefe	Brandlast	Stahl			Beton			Gasbeton		
x	q (Boreh.)	t_{real}	$t_{\ddot{a}qS}$	$\frac{t_{\ddot{a}qS}}{t_{\ddot{a}qS}}$	t_{real}	$t_{\ddot{a}qB}$	$\frac{t_{\ddot{a}qB}}{t_{\ddot{a}qS}}$	t_{real}	$t_{\ddot{a}qG}$	$\frac{t_{\ddot{a}qG}}{t_{\ddot{a}qS}}$
cm	kg/cm ²	min	min	%	min	min	%	min	min	%
0,5	60 25 % V	48	68	100	35	106	156	33	124	182
	30 25 % V	25	37	100	20	49	132	19	57	154
	15 25 % V	25	16	100	20	15,5	97	18	15	94
	60 50 % V	32	52	100	25	76	146	-	-	-
	30 50 % V	25	20	100	20	20	100	-	-	-
	15 50 % V	23	8,5	100	20	8,0	94	-	-	-
4,5	60 25 % V	62	72	100	63	77	107	74	77	104
	30 25 % V	40	41	100	43	45	110	46	46	100
	15 25 % V	36	21	100	42	30	143	46	33	72
	60 50 % V	42	54	100	52	58	107	-	-	-
	30 50 % V	35	24	100	40	33	137	-	-	-
	15 50 % V	35	13	100	40	21	162	-	-	-

**Tabelle 4: Einfluß des Bauteils auf die äquivalente Branddauer
bei modifizierten Bränden (berechnet)**

Meßtiefe	Brandlast	Stahl		Beton		Gasbeton	
x	k ⁺)	t _{real}	t _{äqS}	t _{real}	t _{äqB}	t _{real}	t _{äqG}
cm	‰	min	min	min	min	min	min
0,5	75	51	30	72	30	36	15
		105	60	110	40	94	30
		180	90	152	50	146	40
	125	19	30	17	30	15	30
		38	60	29	60	26	60
		55	90	39	90	35	90
		70	120	47	120	43	120
		81	150	56	150	51	150
4,5	75	90	180	64	180	58	180
		46	30	40	30	38	30
		99	60	93	60	85	60
	125	169	90	152	90	140	90
		21	30	24	30	26	30
		41	60	45	60	48	60
		59	90	64	90	67	90
		73	120	81	120	86	120
		85	150	97	150	103	150
		94	180	112	180	119	180

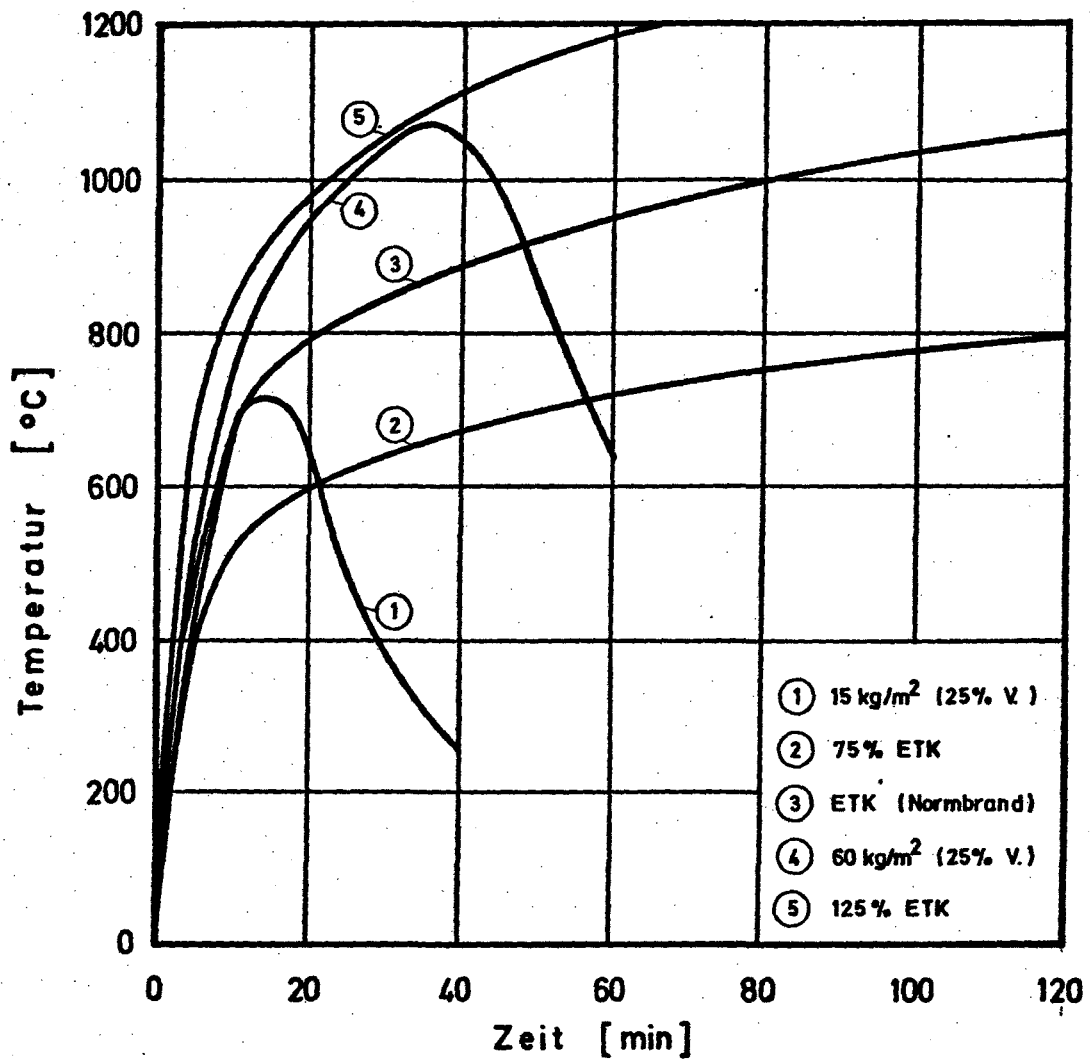


Bild 1 : Simulierte Brandraumkurven der experimentell untersuchten natürlichen und modifizierten Brände

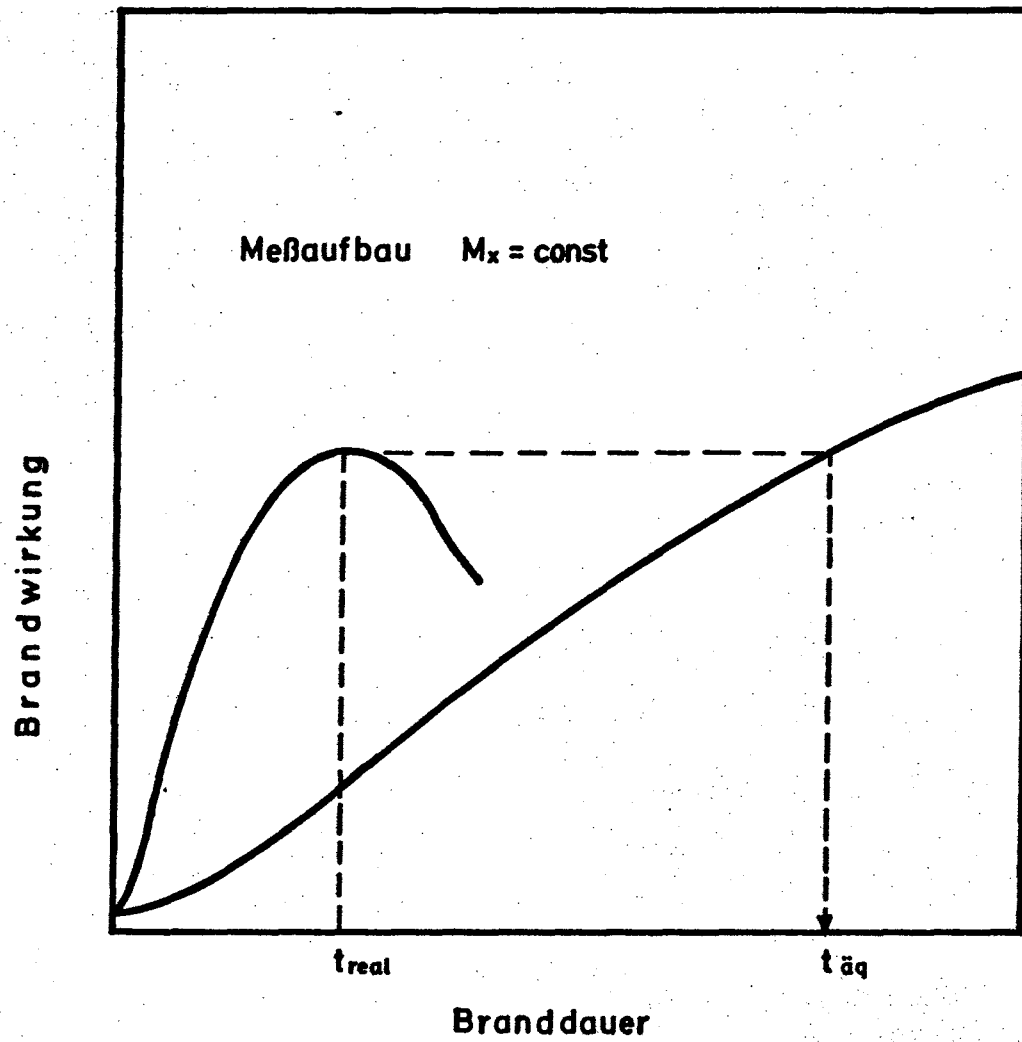


Bild 2 : Beurteilung der Brandwirkung mittels der äquivalenten Branddauer

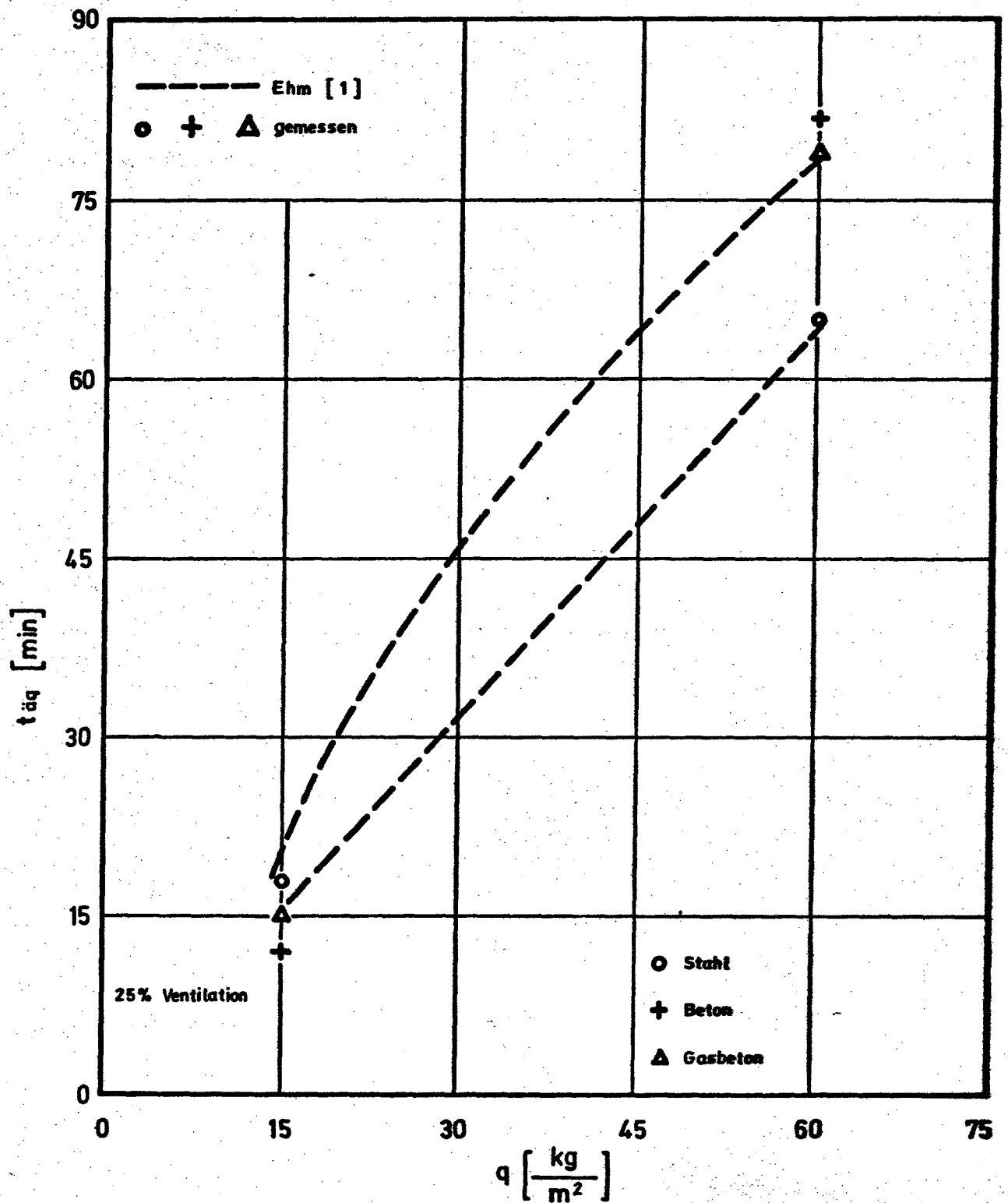


Bild 3 : Einfluß des Bauteils auf die äquivalente Branddauer bei natürlichen Bränden (gemessen, Meßtiefe 0,5cm)

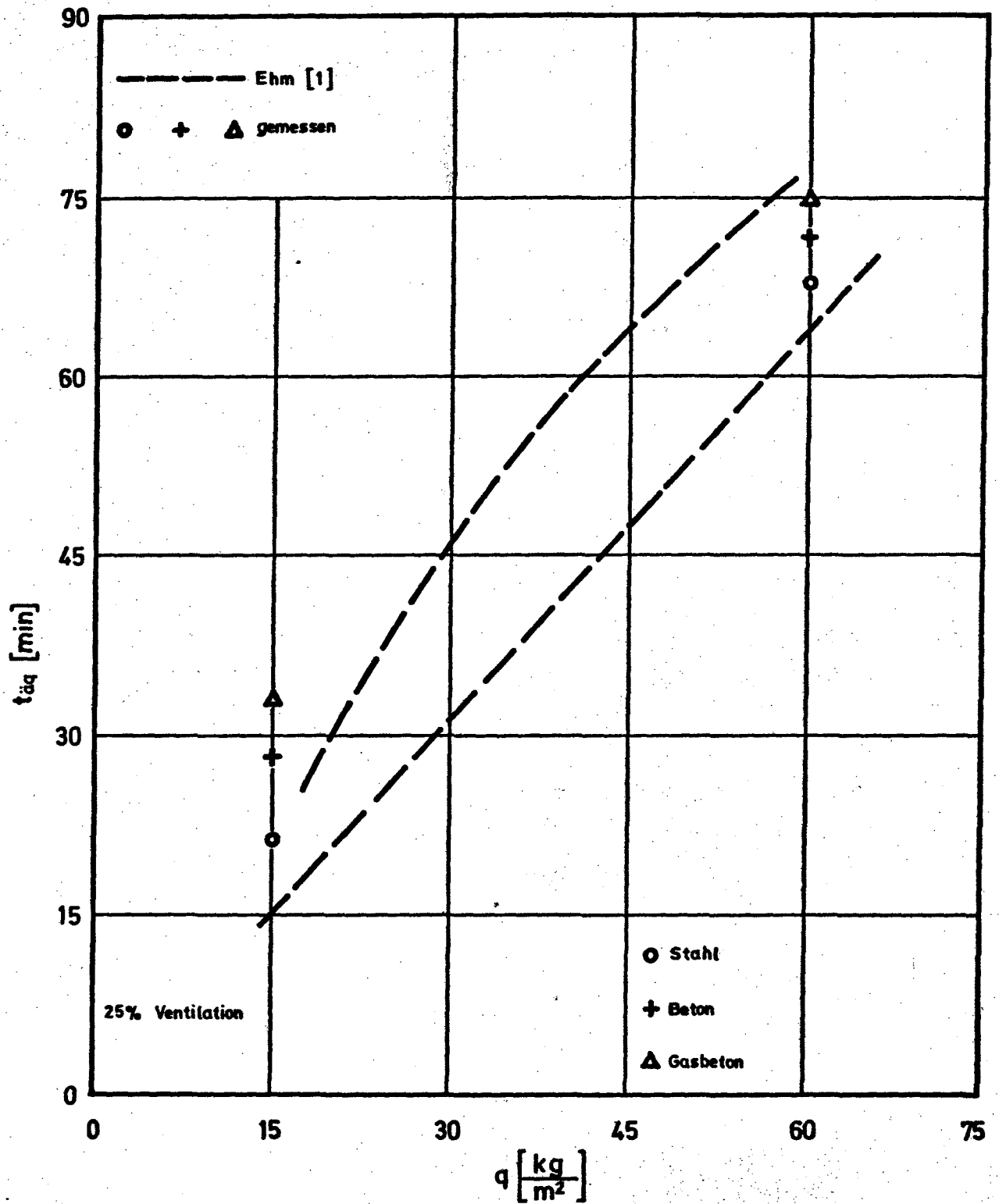


Bild 4 : Einfluß des Bauteils auf die äquivalente Branddauer bei natürlichen Bränden (gemessen, Meßtiefe 4,5 cm)

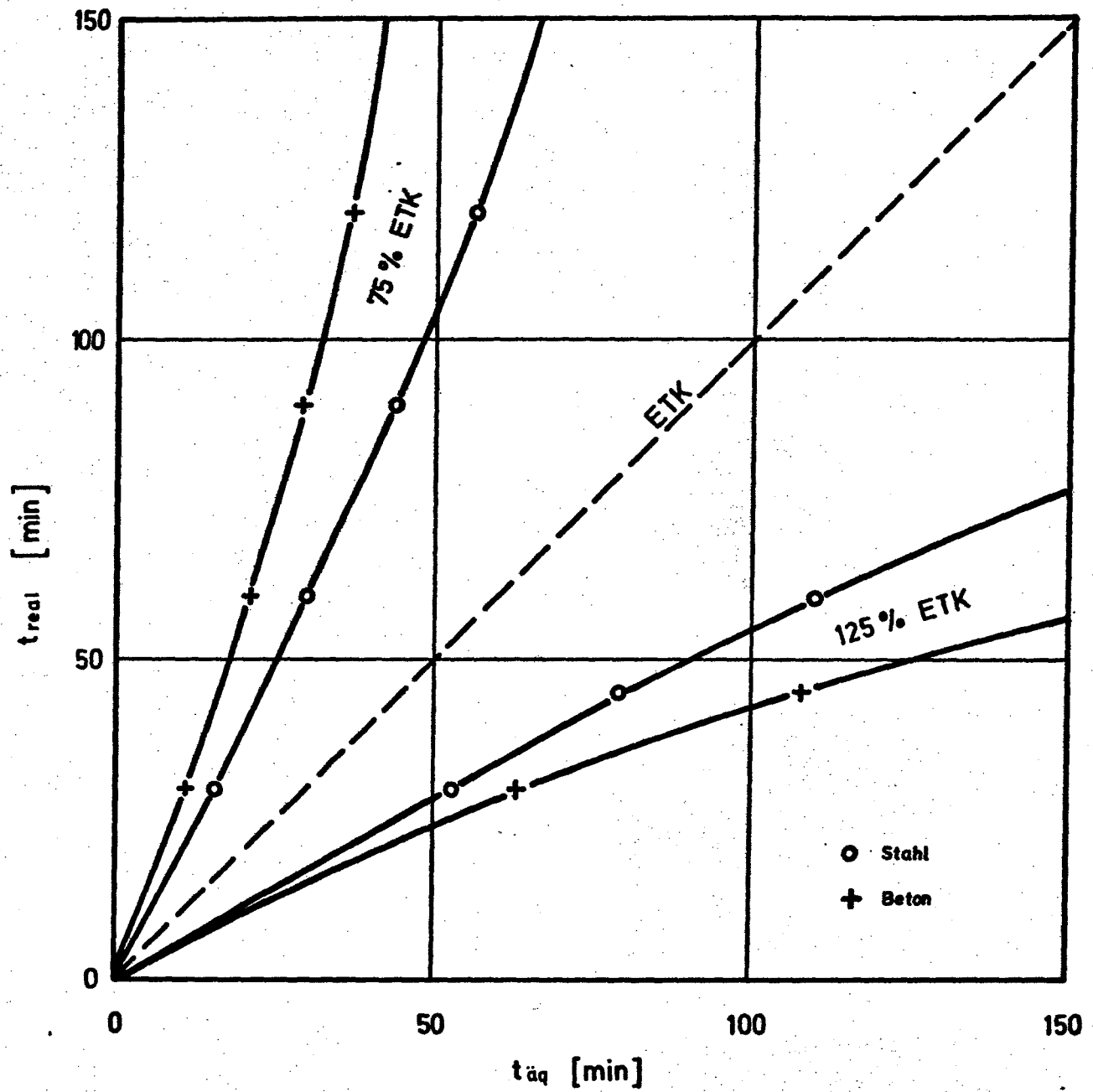


Bild 5 : Einfluß des Bauteils auf die äquivalente Branddauer bei modifizierten Bränden (gemessen, Meßtiefe 0.5 cm)

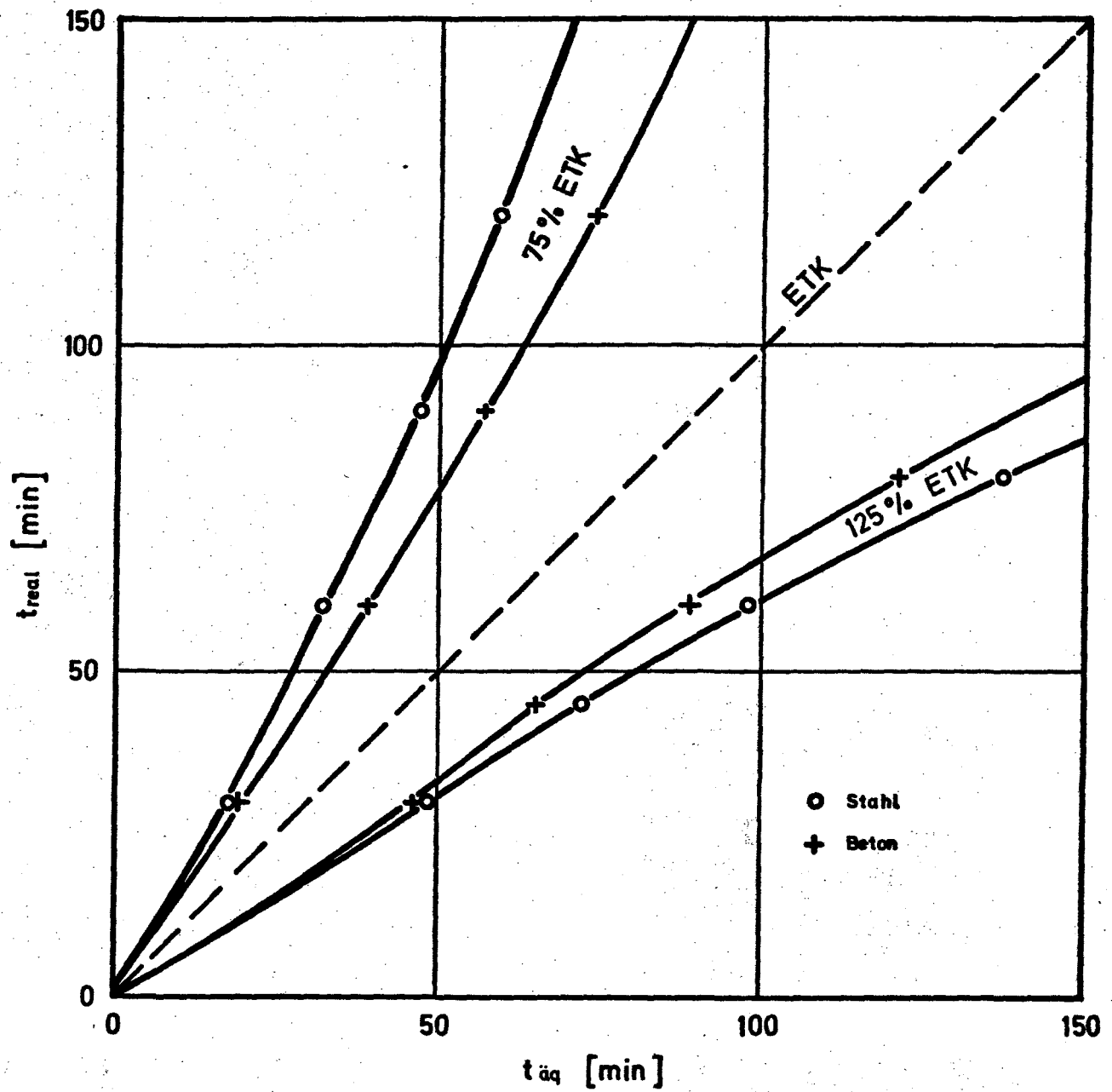


Bild 6: Einfluß des Bauteils auf die äquivalente Branddauer bei modifizierten Bränden (gemessen, Meßtiefe 4,5 cm)

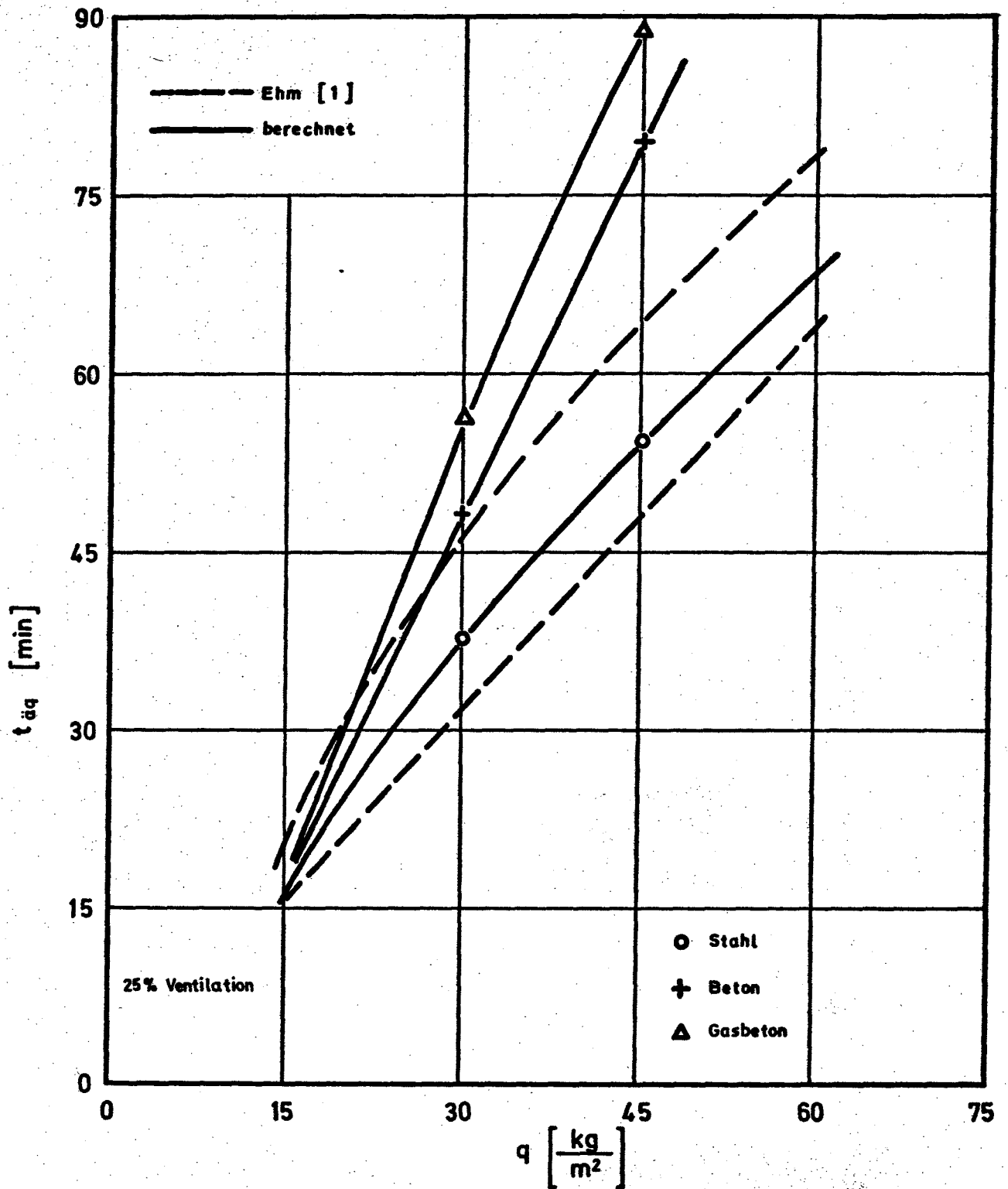


Bild 7 : Einfluß des Bauteils auf die äquivalente Branddauer bei natürlichen Bränden (berechnet, Meßtiefe 0,5cm)

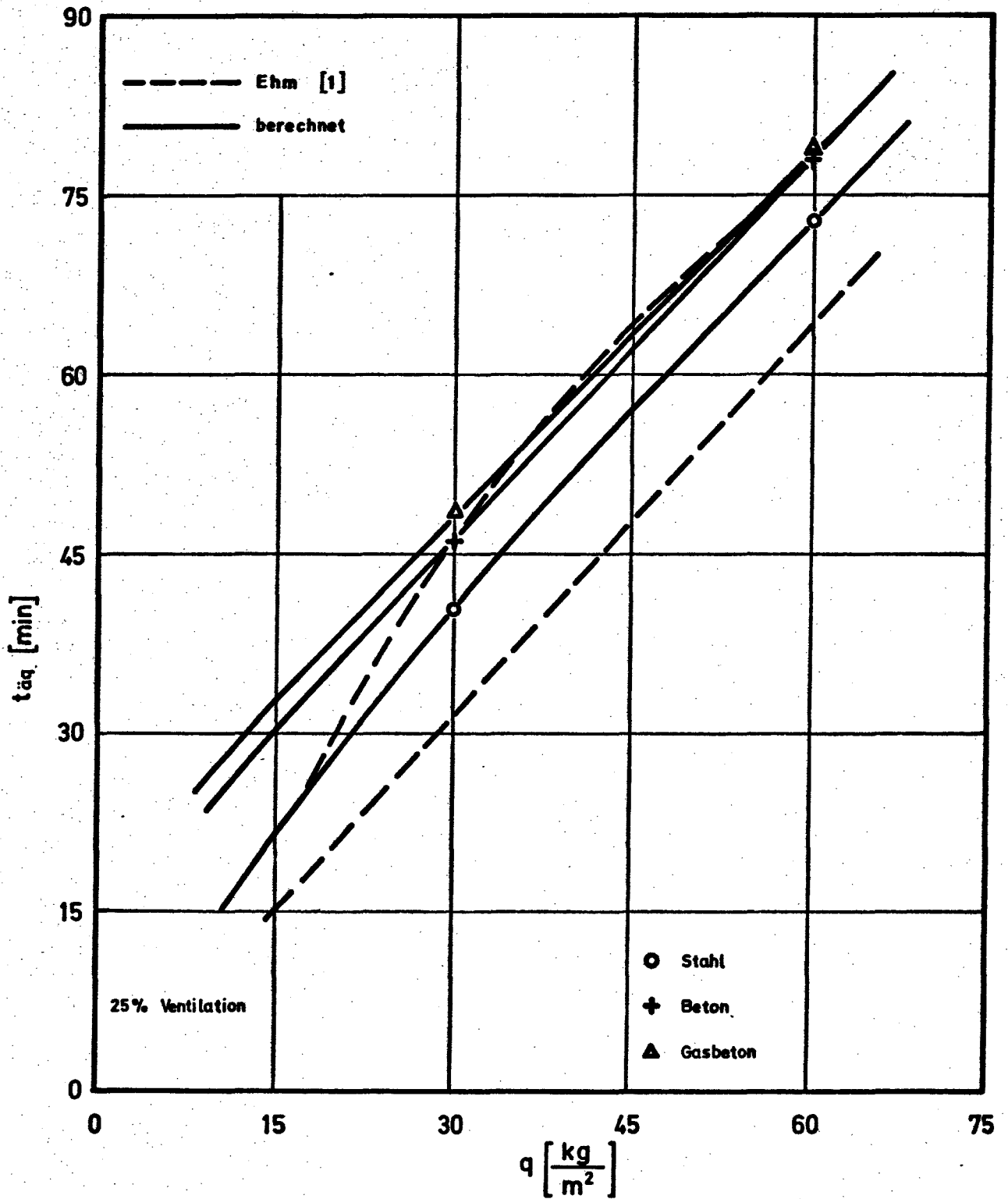


Bild 8 : Einfluß des Bauteils auf die äquivalente Branddauer bei natürlichen Bränden (gerechnet, Meßtiefe 4,5cm)

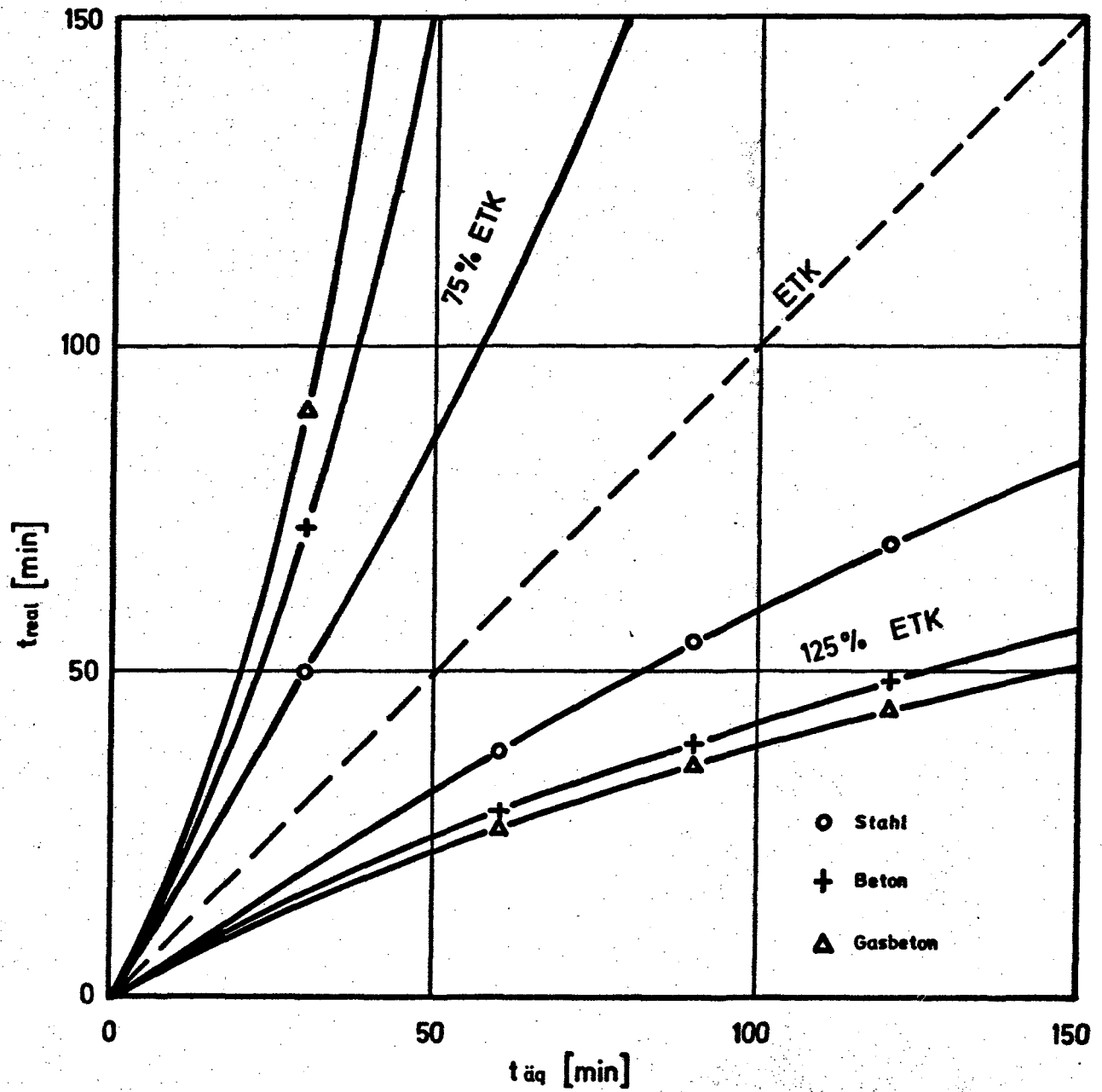


Bild 9 : Einfluß des Bauteils auf die äquivalente Branddauer bei modifizierten Bränden (berechnet, Meßtiefe 0.5 cm)

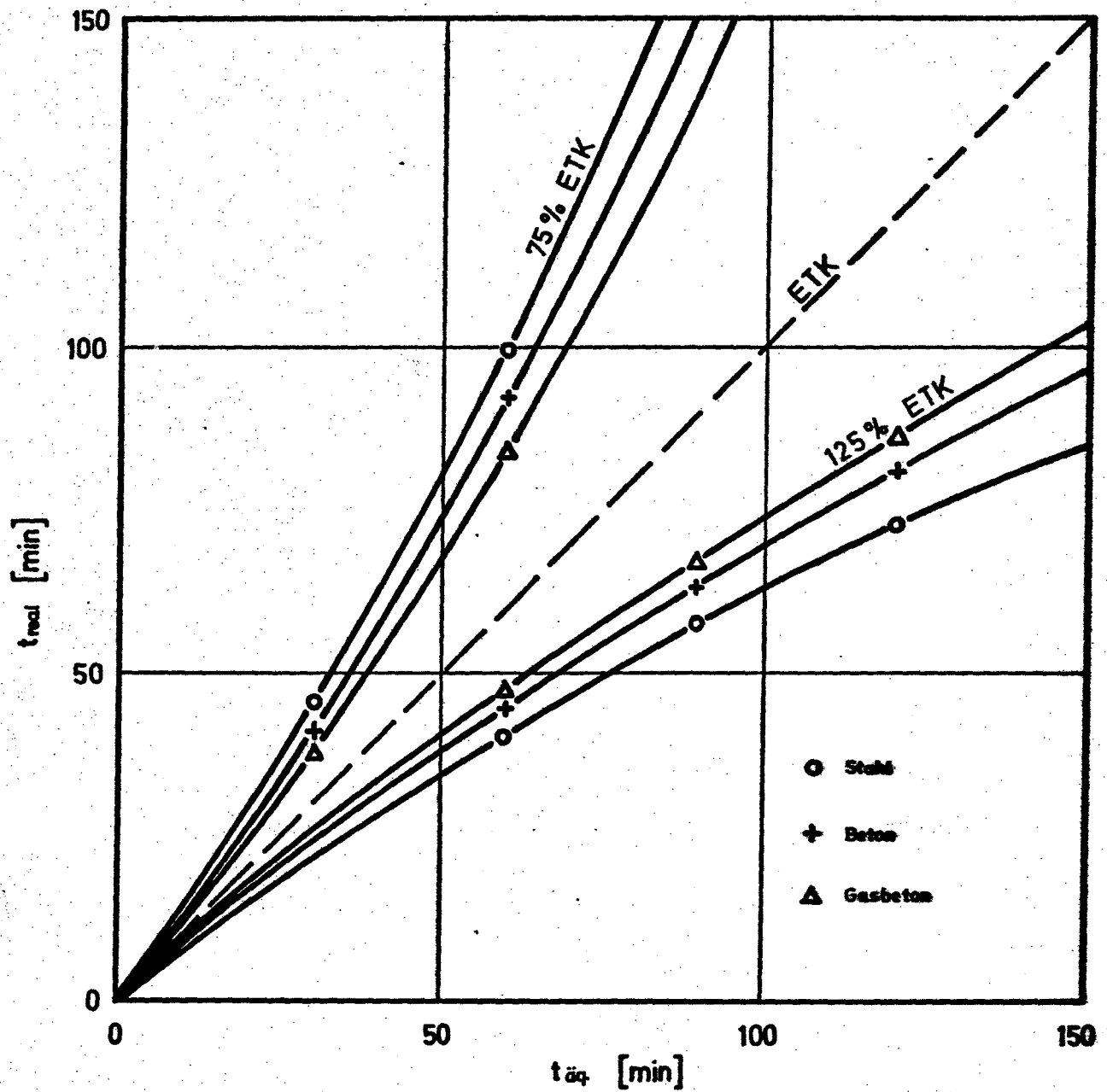


Bild 10: Einfluß des Bauteils auf die äquivalente Branddauer bei modifizierten Bränden (berechnet, Meßtiefe 4,5 cm)

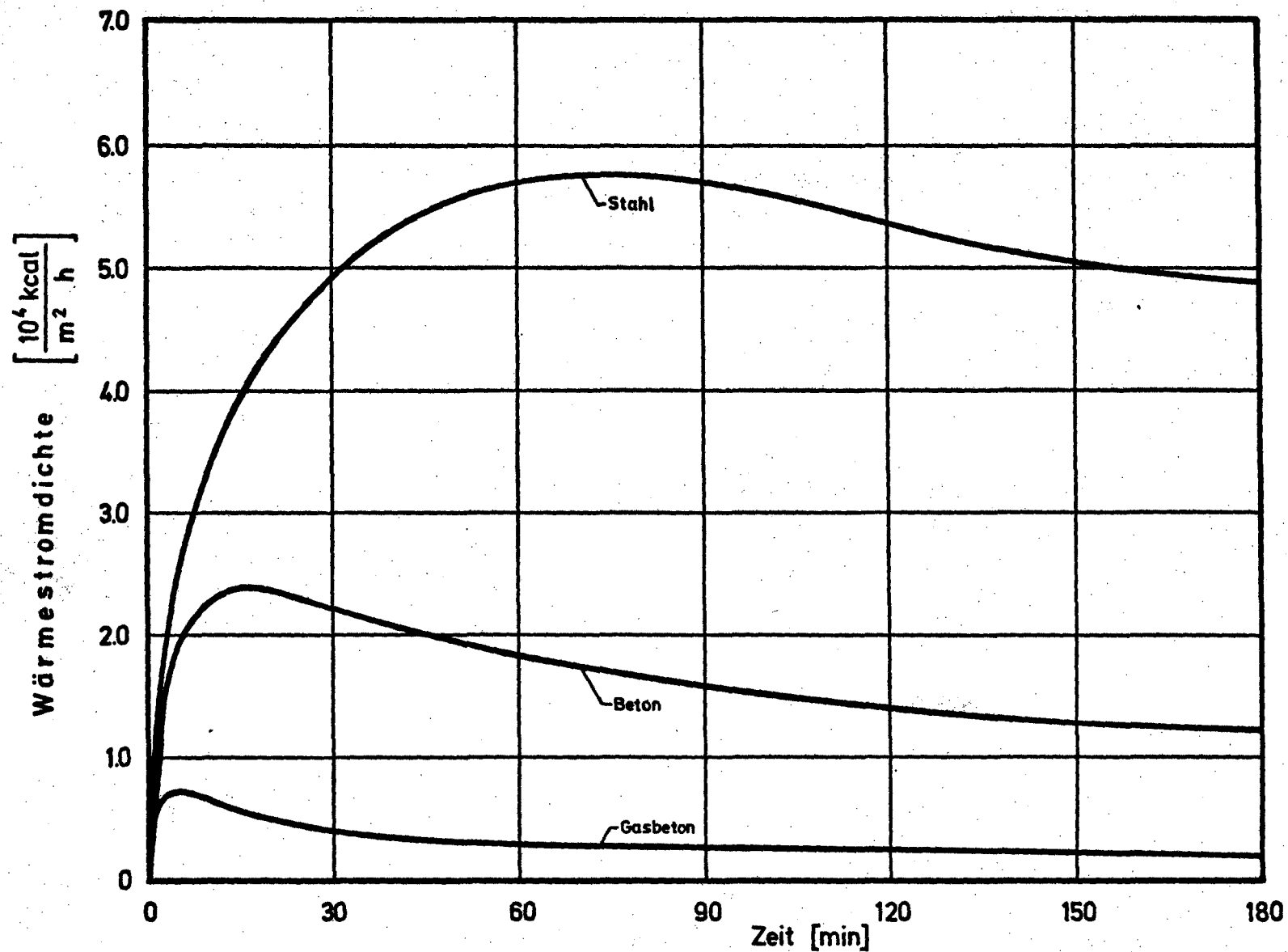


Bild 11: Wärmestromdichten an drei verschiedenartigen Bauteilen gleicher Abmessungen bei Feuerbeanspruchung entsprechend der Einheitstemperaturkurve

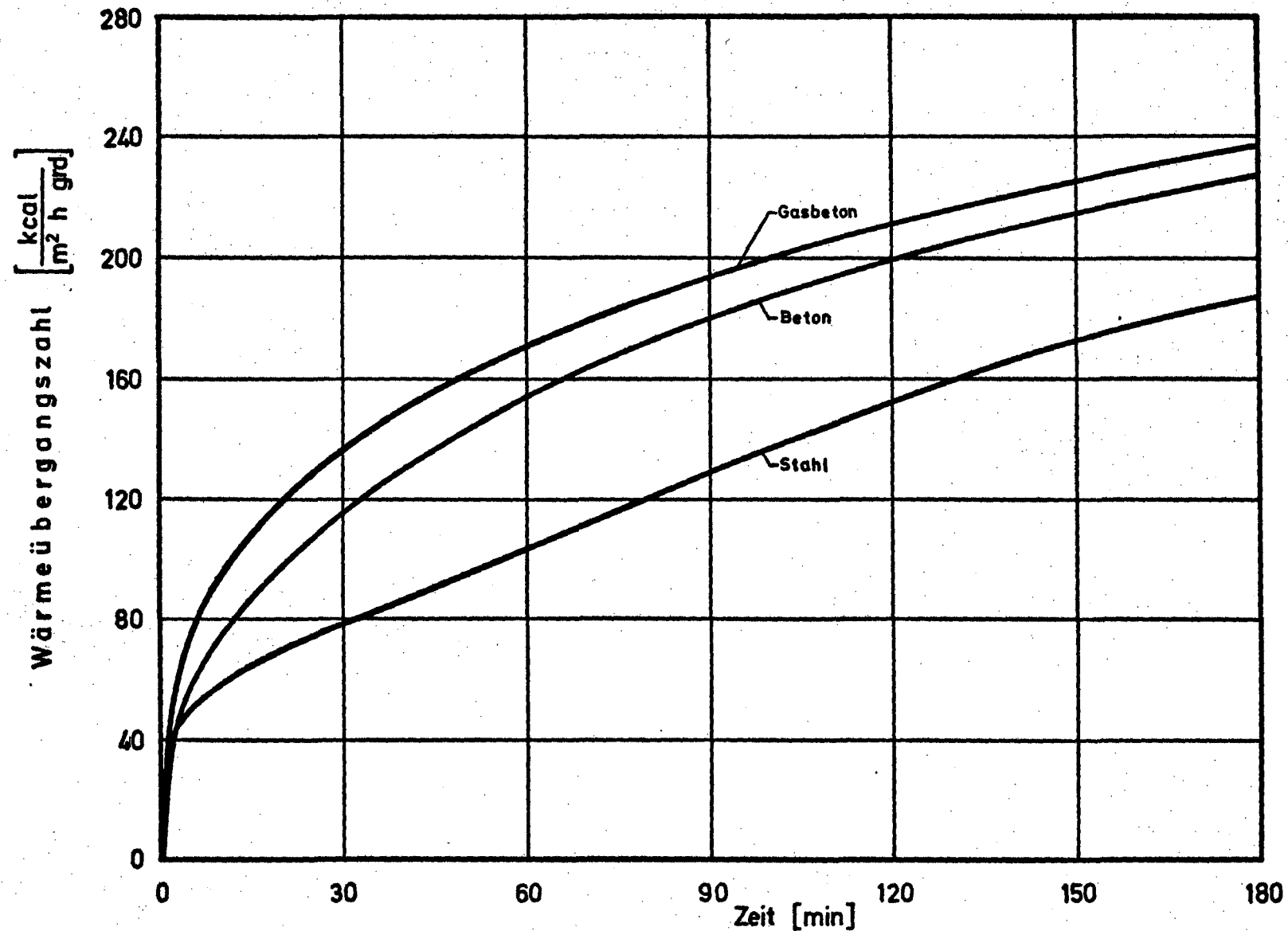


Bild 12: Wärmeübergangszahlen an drei verschiedenartigen Bauteilen gleicher Abmessungen bei Feuerangriff entsprechend der Einheitstemperaturkurve

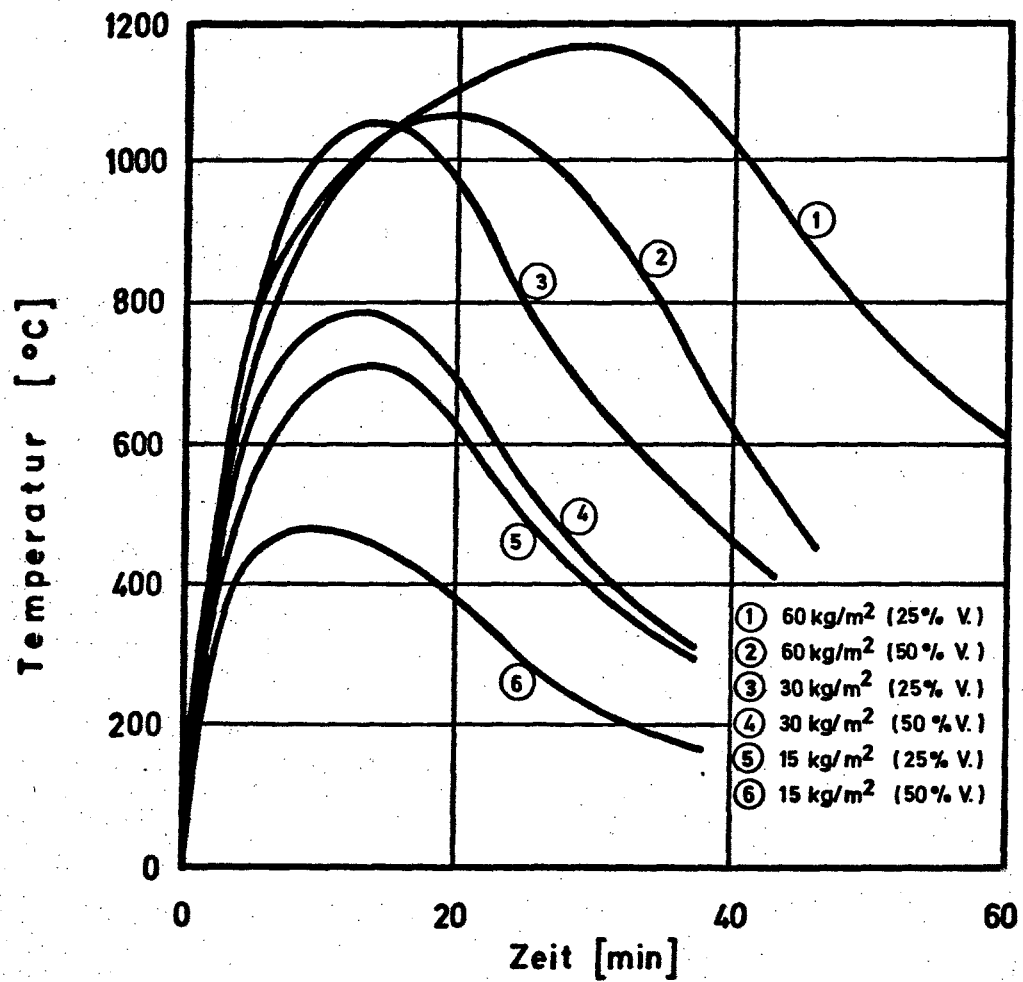


Bild 13: Temperatur-Zeit-Funktionen bei natürlichen Bränden nach englischen Versuchen [4]

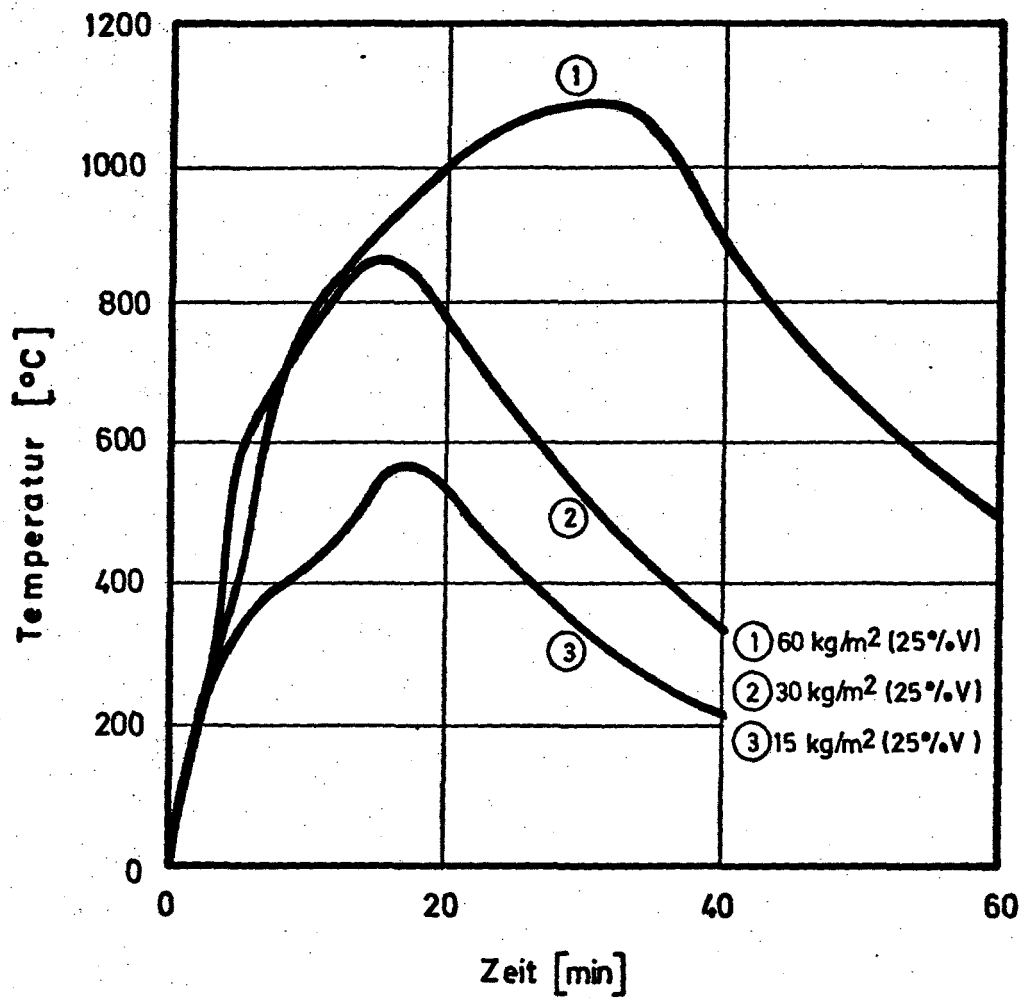


Bild 14 : Temperatur-Zeit-Funktionen bei natürlichen Bränden nach Versuchen in Metz [6]

K u r z f a s s u n g

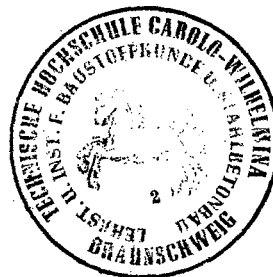
zum Abschlußbericht des Forschungsauftrages

"Untersuchung des Erwärmungsvorganges in Bauteilen bei
natürlichen Bränden und deren Umrechnungsmöglichkeiten
auf die Einheitstemperaturkurve nach DIN 4102"

Bericht erstattet

von

Dipl.-Ing. U. Schneider



August 1972

(Die Untersuchungen wurden im Auftrage des Innenministers des Landes
Nordrhein-Westfalen - Az.: V B 1 - Nr. 6 (For.) - durchgeführt.)

Über die Umrechnungsmöglichkeiten von natürlichen Bränden auf die Einheits-temperaturkurve liegen bisher nur sehr wenig Erfahrungen vor, so daß die Zusammenhänge weitgehend ungeklärt sind. In dem vorliegenden Bericht wurden einige Teilaspekte der auf diesem Gebiet noch offenstehenden Fragen behandelt.

Drei verschiedenartige Bauteile wurden in einem Wandbrandhaus unterschiedlichen (simulierten) Bränden ausgesetzt. Anhand der in den Bauteilen gemessenen Temperaturen wurde eine definierte äquivalente Branddauer bestimmt und ein Vergleich mit dem Normbrand nach DIN 4102 durchgeführt. Es zeigte sich, daß Bauteile hoher Wärmeleitfähigkeit fast immer kürzere äquivalente Branddauern ergeben als Bauteile geringer Wärmeleitfähigkeit. Eine erhebliche Abhängigkeit der äquivalenten Branddauer von der jeweiligen Meßtiefe konnte ebenfalls nachgewiesen werden.

Die experimentellen Ergebnisse konnten durch Berechnung der Temperaturfelder in verschiedenartigen Bauteilen unter Feuerangriff theoretisch bestätigt werden. Es ergaben sich für die äquivalente Branddauer maximale Unterschiede bis zu 80 %. Im Mittel waren die Abweichungen allerdings wesentlich geringer, sie lagen bei rd. 25 %. Eine vollständige Lösung des angesprochenen Problems erscheint z. Z. noch nicht möglich; hierzu sind weitere systematische Untersuchungen an verschiedenartigen Bauteilen bei natürlichen Bränden und im Normbrand erforderlich.

30-0536/001